乳鸽早期消化特性研究[1]

张晓昀　董信阳　卜星晨　齐明星　苗丽萍　周旻瑶　邹晓庭*

（浙江大学饲料科学研究所，农业部动物营养与饲料科学重点实验室，杭州 310058）

摘　要：试验通过研究2~10日龄乳鸽体重、消化器官重量、血清蛋白质代谢、胰腺和小肠黏膜消化酶活性等指标的变化规律，揭示乳鸽消化道早期发育特性。选取出壳后2、4、6、8、10日龄白卡奴乳鸽30羽（每个日龄6羽），屠宰取样。结果表明：1）日龄对乳鸽早期体重（含卵黄重）、腺胃、肌胃、肝脏、胰腺、小肠的器官重量和器官指数；血清总蛋白、白蛋白、尿酸、尿素氮含量；胰腺淀粉酶、脂肪酶、胰蛋白酶总活性，脂肪酶比活性，小肠黏膜二糖酶（蔗糖酶和麦芽糖酶）及碱性磷酸酶总活性和比活性均影响显著（$P<0.05$）。其中，发育模式随日龄变化表现为线性增加的指标包括：肝脏、胰腺、小肠的器官指数（$P<0.01$）；体重，肌胃、腺胃、胰腺、肝脏、小肠的器官重量（$P<0.01$）；血清总蛋白和白蛋白含量（$P<0.01$）；胰腺淀粉酶、脂肪酶、胰蛋白总活性，胰腺脂肪酶比活性（$P<0.05$）；小肠黏膜二糖酶（麦芽糖酶和蔗糖酶）和碱性磷酸酶总活性和比活性（$P<0.01$）。血清尿酸、尿素氮含量，胰蛋白酶比活性发育规律表现为线性下降（$P<0.05$）。腺胃和肌胃的器官指数表现为先上升后下降（$P<0.05$）。2）肠段对乳鸽小肠黏膜麦芽糖酶和蔗糖酶总活性影响显著（$P<0.05$）。3）日龄与肠段的交互作用对麦芽糖酶总活性、蔗糖酶总活性和蔗糖酶比活性影响显著（$P<0.05$）。结果提示，随着日龄变化，乳鸽机体蛋白质代谢能力不断增强，沉积水平不断提高，消化系统发育迅速，生长速度高于机体生长，自身胰腺和小肠黏膜水解酶活性不断增强，10日龄时，机体发育水平显著提高。因此，2~10日龄阶段是乳鸽出壳后消化生理机能趋于完善的重要阶段。

关键词：乳鸽；蛋白质代谢；消化酶活性；消化道发育。

中图分类号：S836　　　　文献标识码：　　　　文章编号：

随着人民生活水平的不断改善，消费者对安全优质的畜禽产品需求逐年增加。鸽肉味道鲜美，高蛋白质低脂肪，矿物元素含量丰富，氨基酸组成平衡，易被人体消化吸收，民间素有“一鸽胜九鸡”的说法[1]。我国肉鸽规模化养殖兴起于20世纪80年代初，随后按照每年10%~15%的递增速度发展，产业规模不断壮大。目前，肉鸽已成为四大家禽（鸡、鸭、鹅、

收稿日期：2015-09-22

基金项目：浙江省公益性行业科研专项（2014C32056）；中国博士后科学基金资助项目（518000-X91502）

作者简介：张晓昀（1989—），女，河北张家口人，博士研究生，从事家禽营养研究。E-mail: xiaoyun-zhang@zju.edu.cn

*通信作者：邹晓庭，教授，博士生导师，E-mail: xtzou@zju.edu.cn

鸽）之一[2]。近年来，虽然肉鸽生产稳中有升，但仍不能满足国内外市场的需求。季凤艳[3]报道仅广东、上海、海南、江苏、香港和澳门等地年需乳鸽就达 1 亿只以上，且以白羽王鸽为主，年出口冻乳鸽 2 000~5 000 t，肉鸽养殖已成为了特禽养殖中环保增效的优质现代农业项目。乳鸽属于晚成雏鸟，出壳后早期需要雌雄亲鸽自然哺喂嗉囊乳即鸽乳，随后逐渐以浸湿的谷物饲粮替代鸽乳，乳鸽才能存活[4]。与其他家禽相比，乳鸽生长速度快，增重强度大，抗应激能力强，饲养周期短[5-6]。Sales 等[7]报道乳鸽的相对生长速度是快大型鸡的 3.79 倍，是鹌鹑的 1.96 倍。这种快速生长可能归结于双亲分泌的鸽乳及乳鸽消化道发育特点的双重因素。研究表明，鸽乳中粗蛋白质和脂肪的含量分别为 11%~13%和 5%~7%[16]。为此，乳鸽在出壳后早期形成了特殊的消化生理发育模式。本研究旨在以 2~10 日龄白卡奴乳鸽为试验动物，测定不同日龄乳鸽体重、消化器官重量、血清蛋白质代谢指标、胰腺及小肠黏膜消化酶活性等指标，研究乳鸽早期消化道发育特性，为乳鸽营养需要研究和人工育雏实践提供理论依据，进一步促进肉鸽养殖业的健康发展。

1 材料与方法

1.1 供试动物与样品采集

试验动物购自温州鳌峰鸽业有限公司。雏鸽出壳后由亲鸽自然哺喂，亲鸽饲养于 3 层全阶梯鸽笼（200 cm×170 cm×55 cm）中。参照美国王鸽种鸽饲养管理技术标准（DB34/T 541-2005）配制亲鸽基础饲粮（谷粒原粮），饲粮组成及营养水平见表 1。全期自由采食和饮水。采用开放式鸽舍，自然通风与照明，舍内温度控制在 20~24 ℃，相对湿度为 65%~75%。

选取 2、4、6、8、10 日龄白卡奴乳鸽各 6 羽，称重、采血后屠宰取样。采集腺胃（去除内容物）、肌胃（去除内容物）、肝脏、胰腺、小肠（去除内容物，前侧从十二指肠与肌胃连接处剪开，后侧从两侧盲肠头部剪开）称重并记录。轻轻剪开小肠，用生理盐水漂洗，分别刮取十二指肠、空肠和回肠黏膜，收集于冻存管中。将胰腺和小肠黏膜样品置于-80 ℃冰箱，备用。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet （air-dry basis）　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	54.00
小麦 Wheat	14.00

豌豆 Pea	28.00
贝壳粉 Shell powder	1.60
石子 Stones	1.60
铁红粉 Ferrous powder	0.04
食盐 NaCl	0.20
钙 Calcium	0.28
预混料 Premix[1)]	0.28
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.48
粗蛋白质 CP	13.00
粗脂肪 EE	2.64
粗灰分 Ash	1.75
钙 Ca	1.16
总磷 TP	0.30
赖氨酸 Lys	0.58
蛋氨酸 Met	0.15

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 5 000 IU，VD_3 1 000 IU，VE 20 IU，Cu (as copper sulfate) 15 mg，Fe (as ferrous sulfate) 60mg，Mn (as manganese sulfate) 50 mg，Zn (as zinc sulfate) 90 mg。

[2)] 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.2　指标检测与方法

1.2.1　器官重量和器官指数测定

测定乳鸽体重，胃、肌胃、肝脏、胰腺、小肠器官重量，并计算器官指数。

器官指数（%）＝（器官重量/体重）×100。

1.2.2　血清蛋白质代谢指标测定

常温条件下，血液样品 3 000 r/min 离心 15 min 制备血清。血清总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、尿素氮（UN）、尿酸（UA）含量均采用试剂盒测定，试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.2.3　消化酶活性测定

十二指肠、空肠和回肠黏膜及胰腺样品按照质量/体积=1:9 加入生理盐水。冰浴条件下，制备组织匀浆液，4 ℃、10 000 r/min 离心 20 min，收集上层清液，以备酶活检测。组织总蛋白（TP）含量及腺淀粉酶（AMS）、脂肪酶（LPS）和胰蛋白酶（Trypsin）活性，肠道黏膜蔗糖酶（Sucrase）、麦芽糖酶（Maltase）和碱性磷酸酶（AKP）活性，均采用试剂盒测定，试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.3　数据统计与分析

试验数据均以平均值和 SEM 表示。采用 Excel 对试验数据进行初步整理。采用 SPSS 20.0 软件中的单因子方差分析（one-way ANOVA）对乳鸽消化器官重量变化、血清蛋白质代谢指标和胰腺消化酶活性进行数据处理；一般线性模型（general linear model）的单变量方法对小肠黏膜消化酶活性进行数据处理；Tukey 法进行多重比较检验。$P<0.05$ 表示差异显著，$P<0.01$ 表示差异极显著。

2　结　果

2.1　乳鸽早期体重和器官重量的发育变化

2~10 日龄乳鸽体重和器官重量的变化如表 2 所示。日龄对乳鸽体重（含卵黄重）、腺胃、肌胃、肝脏、胰腺和小肠的器官重量和器官指数影响显著（$P<0.05$）。乳鸽体重和各器官重量随日龄变化呈线性增加（$P<0.01$）。与 2 日龄相比，10 日龄乳鸽的体重及腺胃、肌胃、肝脏、胰腺和小肠的器官重量分别增加 6.71 倍、5.50 倍、8.59 倍、10.67 倍、17.55 倍和 15.3 倍。乳鸽器官指数随日龄变化趋势并不完全一致。随着日龄的增加，腺胃和肌胃器官指数先上升后降低（$P<0.05$），4 或 6 日龄达到峰值。肝脏、胰腺和小肠器官指数则随着日龄的增加呈线性增加（$P<0.05$）。胰腺的器官指数增长速度相对缓慢。小肠的器官指数从 4~6 日龄阶段持续稳步增长，10 日龄时是 2 日龄的 2.11 倍。

表 2　2~10 日龄乳鸽体重和器官重量的发育变化

Table 2　Developmental changes of body and organs weight of squabs in 2 to 10 days of age

项目 Items	器官重量 Organ weight/g						器官指数 Organ index/%				
	体重 BW	腺胃 Proventriculus	肌胃 Gizzard	肝脏 Liver	胰腺 Pancreas	小肠 Intestine	腺胃 Proventriculus	肌胃 Gizzard	肝脏 Liver	胰腺 Pancreas	小肠 Intestine
日龄 Day of age											

2	27.77^{d}	0.18^{d}	1.10^{d}	0.87^{d}	0.11^{d}	0.20^{c}	0.66^{ab}	3.97^{d}	3.09^{b}	0.38^{c}	0.72^{b}
4	52.07^{d}	0.40^{c}	3.33^{c}	2.20^{d}	0.30^{d}	0.60^{c}	0.77^{a}	6.45^{ab}	4.27^{ab}	0.61^{bc}	1.09^{ab}
6	101.55^{c}	0.73^{b}	7.15^{b}	4.42^{c}	0.78^{c}	1.36^{b}	0.73^{ab}	7.11^{a}	4.42^{ab}	0.79^{ab}	1.30^{a}
8	149.08^{b}	0.88^{b}	8.30^{b}	6.98^{b}	1.24^{b}	1.94^{b}	0.61^{ab}	5.60^{bc}	4.74^{a}	0.80^{ab}	1.36^{a}
10	214.18^{a}	1.17^{a}	10.55^{a}	10.15^{a}	2.04^{a}	3.26^{a}	0.55^{b}	4.90^{cd}	4.74^{a}	0.91^{a}	1.52^{a}
SEM	10.98	0.06	0.60	0.51	0.12	0.25	0.06	0.39	0.50	0.08	0.16
P 值 *P*-value											
日龄 Day of age	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.017	0.000	0.001
线性 Linear	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.537	0.002	0.000	0.000
二次 Quadratic	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.003	0.000	0.000

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 乳鸽早期血清蛋白质代谢指标的发育变化

2~10 日龄乳鸽血清蛋白质代谢指标的变化如表 3 所示。日龄对乳鸽血清总蛋白、白蛋白、尿酸和尿素氮含量影响显著（P<0.05）。乳鸽血清总蛋白和白蛋白含量随日龄增加呈现线性增加（P<0.01）。与 2 日龄相比，10 日龄的血清总蛋白和白蛋白含量分别提高 0.95 倍和 1.25 倍。乳鸽血清尿酸和尿素氮含量随着日龄的增加呈现线性下降（P<0.01）。乳鸽 10 日龄的血清尿酸和尿素氮含量比 2 日龄时降低 1.41 倍和 2.67 倍。

表 3 2~10 日龄乳鸽血清蛋白质代谢指标的发育变化

Table 3 Developmental changes of serum protein metabolism indices of squabs in 2 to 10 days

of age

项目 Items	总蛋白 TP/(g/L)	白蛋白 ALB/(g/L)	尿酸 UA/(mg/L)	尿素氮 UN/(mmol/L)
日龄 Day of age				
2	6.56[b]	4.45[b]	122.15[a]	4.88[a]
4	9.82[ab]	7.27[ab]	87.33[ab]	2.46[ab]
6	11.14[ab]	7.99[ab]	52.07[b]	1.75[ab]
8	11.51[ab]	9.19[a]	50.97[b]	1.34[b]
10	12.76[a]	10.03[a]	50.59[b]	1.33[b]
SEM	1.64	1.21	16.34	0.97
P 值 *P*-value				
日龄 Day of age	0.031	0.009	0.004	0.022
线性 Linear	0.002	0.000	0.001	0.000
二次 Quadratic	0.003	0.001	0.036	0.001

2.3　乳鸽早期胰腺消化酶活性的发育变化

2~10 日龄乳鸽胰腺消化酶活性变化如表 4 所示。日龄对乳鸽胰腺淀粉酶、脂肪酶和胰蛋白酶总活性影响显著（$P<0.05$）。乳鸽胰腺淀粉酶、脂肪酶和胰蛋白酶总活性随日龄增加呈现线性增加（$P<0.01$)。与 2 日龄相比，10 日龄乳鸽胰腺淀粉酶、脂肪酶和胰蛋白酶总活性分别提高 1.29 倍、8.64 倍和 1.89 倍。另外，日龄对乳鸽胰腺脂肪酶和胰蛋白酶比活性影响显著（$P<0.05$）。乳鸽胰腺脂肪酶比活性随日龄增加呈现线性增加（$P<0.05$），10 日龄乳鸽胰腺脂肪酶比活性是 2 日龄的 5.39 倍。乳鸽胰腺胰蛋白酶比活性则随着日龄的增加呈现线下降（$P<0.05$），10 日龄乳鸽胰蛋白酶比活性与 2 日龄相比，下降 0.23 倍。

表 4　2~10 日龄乳鸽胰腺消化酶活性的发育变化

Table 4　Developmental changes of activities of pancreatic digestive enzymes in squabs of 2 to 10 days of age

项目 Items	胰腺酶总活性 Enzyme activity of pancreas			胰腺酶比活性 Specific activity of pancreas		
	淀粉酶 AMS/	脂肪酶 LPS/	胰蛋白酶 Trypsin/	淀粉酶 AMS/	脂肪酶 LPS/	胰蛋白酶 Trypsin/

	(U/mg prot)	(U/g prot)	(U/mg prot)	(U/mg tissue)	(U/g tissue)	(U/mg tissue)
日龄 Day of age						
2	44.36[b]	1.18[b]	42.18[b]	1.65	70.13[c]	1.60[ab]
4	70.18[ab]	2.74[b]	69.13[ab]	1.89	151.00[bc]	1.77[a]
6	71.37[ab]	6.25[ab]	98.65[ab]	1.64	199.99[abc]	1.40[ab]
8	91.03[a]	9.22[a]	107.23[ab]	1.87	308.63[ab]	1.41[ab]
10	101.40[a]	11.38[a]	121.81[a]	1.80	378.00[a]	1.30[b]
SEM	12.57	1.86	23.99	0.13	68.42	0.15
P 值 *P*-value						
日龄 Day of age	0.009	0.001	0.024	0.257	0.008	0.038
线性 Linear	0.000	0.000	0.001	0.337	0.000	0.011
二次 Quadratic	0.001	0.000	0.003	0.617	0.001	0.038

2.4 乳鸽早期小肠黏膜消化酶活性的发育变化

2~10 日龄乳鸽小肠黏膜消化酶活性的变化如表 5 所示。日龄对乳鸽小肠黏膜消化酶总活性和小肠黏膜消化酶比活性影响显著（P<0.01）。乳鸽出壳后 2~8 日龄，小肠黏膜消化酶总活性缓慢升高，10 日龄时其总活性显著升高。与 2 日龄相比，10 日龄乳鸽蔗糖酶、麦芽糖酶和碱性磷酸酶总活性分别增加 10.83 倍、1.98 倍和 1.19 倍，比活性分别增加 13.64 倍、2.39 倍和 1.82 倍。肠段因素对乳鸽小肠蔗糖酶总活性和比活性影响显著（P<0.05），对碱性磷酸酶总活性和比活性无显著影响（P>0.05）。其中，小肠黏膜各酶总活性在回肠最高，空肠次之，十二指肠最低。日龄与肠段的交互作用对小肠黏膜麦芽糖酶和蔗糖酶总活性及蔗糖酶比活性有显著影响（P<0.05）。

表 5　2~10 日龄乳鸽小肠黏膜消化酶活性的发育变化

Table 5 Developmental changes of activities of intestinal digestive enzymes in squabs of 2 to 10 days of age

项目 Items	小肠黏膜酶总活性 Enzyme activity of intestinal mucosa	小肠黏膜酶比活性 Specific activity

	蔗糖酶 Surcase/ (U/mg prot)	麦芽糖酶 Maltase/ (U/mg prot)	碱性磷酸酶 AKP/ (金氏单位/g prot)	蔗糖酶 Surcase/(U/mg mucosa)	麦芽糖酶 Maltase/(U/mg mucosa)	碱性磷酸酶 AKP/(金氏单位/g mucosa)
肠段 Segment						
十二指肠 Duodenum	232.95^{b}	8 870.64^{b}	526.77	13.10^{b}	558.56	45.06
空肠 Jejunum	331.74^{b}	11 854.94^{ab}	591.17	23.15^{ab}	716.49	34.53
回肠 Ileum	680.44^{a}	16 782.49^{a}	707.48	37.41^{a}	883.11	34.36
SEM	127.88	3 084.62	96.10	6.17	131.87	6.40
P 值 *P*-value	0.002	0.040	0.170	0.001	0.054	0.167
日龄 Day of age						
2	82.62^{b}	8 672.17^{b}	435.95^{b}	3.68^{c}	404.42^{b}	21.80^{b}
4	126.72^{b}	6 647.13^{b}	416.07^{b}	8.85^{c}	458.65^{b}	29.43^{b}
6	353.28^{b}	9 494.22^{b}	633.10^{ab}	21.85^{bc}	608.08^{b}	36.26^{b}
8	535.18^{ab}	11 831.46^{b}	601.53^{b}	34.49^{ab}	756.14^{b}	41.05^{ab}
10	977.43^{a}	25 868.48^{a}	955.72^{a}	53.88^{a}	1 369.63^{a}	61.38^{a}
SEM	165.10	3982.23	124.07	7.96	170.24	8.26
P 值 *P*-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
交互作用 Interaction						
日龄×肠段 Day of age× segment	0.017	0.008	0.208	0.040	0.399	0.934

3 讨　论

3.1　乳鸽早期体重和器官重量的发育变化

乳鸽的生长性能和发育状况直接关系到肉鸽的生产效益。幼禽出壳后的早期生长阶段，

其生长发育性能直观表现为雏禽机体器官重量的变化。胡文娥等[5]指出乳鸽出壳后早期生长速度较快，自然育雏乳鸽的增重速度在第 2 周龄时达到最快。本研究结果发现，乳鸽出壳后早期发育迅速，体重和器官重量呈线性增长趋势，与上述报道结果相似。家禽胚胎期的器官发育模式不但能够影响胚胎的存活率和孵化率，而且决定了幼禽出壳后的个体发育。Chen 等[8]研究指出，乳鸽从胚胎期 9 日龄到出壳这个阶段胚胎（不含卵黄重）发育迅速，绝对重量从 1.27 g 增加至 11.47 g，相对重量持续增长，以胚胎期 13 至 15 日龄阶段增长最为迅速。结果表明在胚胎发育前期神经和大脑组织发育较快，进入发育后期胃肠系统及肝脏开始迅速发育。在胚胎发育后期，肝脏的迅速发育是为了满足糖原合成能量储备的需要。胃肠系统具有摄取、消化和吸收营养物质的功能[9]。小肠发育迅速，可以促进乳鸽出壳后营养物质的吸收利用水平，从而促进乳鸽生长。雏鸽出壳后，消化系统面临着从胚胎期的卵黄囊内源性营养向亲鸽哺喂的高蛋白质高脂肪的干酪样鸽乳转变的挑战，肠道迅速发育以达到功能上的成熟。本研究发现，在乳鸽出壳后 10 日龄内，肝脏、胰腺和小肠的增重速度分别是体重的 1.51 倍、2.41 倍和 2.11 倍，生长速度显著高于机体生长，这与幼禽和雏鸡的研究报道一致[10]。

3.2　乳鸽早期血清蛋白质代谢指标的发育变化

蛋白质是动物机体细胞和组织代谢的重要营养物质，也是畜禽肉蛋奶产品的重要组成部分。乳鸽蛋白质的沉积水平取决于合成与分解代谢的动态平衡。血清总蛋白和白蛋白含量是反映畜禽机体蛋白质沉积能力的重要指标，血清尿酸和尿素氮是蛋白质的消化终产物，家禽以尿酸为主[11]。本试验中，乳鸽血清总蛋白和白蛋白含量变化高度一致，其中 2~6 日龄阶段增长迅速，随后维持平稳。相反，血清尿酸和尿素氮含量在 2~6 日龄急剧下降，之后保持相对稳定。结果表明随着日龄的增加，乳鸽生长发育机能逐渐趋于成熟，氮沉积能力不断增强。

3.3　乳鸽早期胰腺消化酶活性的发育变化

胰腺是畜禽重要的实体消化腺，分泌的胰液中含有大量消化酶，进入肠道后，参与肠腔消化。胰腺消化酶活性是机体消化能力的直观表现[12]。Dong 等[13]研究发现，家鸽胰腺淀粉酶和胰蛋白酶比活性分别在出壳后 3 和 8 日龄急剧升高。而本试验发现淀粉酶比活性无显著变化，胰蛋白酶比活性 6 日龄后有所下降，这可能是由于亲鸽饲粮组成不同造成的[5]。孙福方等[14]对小肠不同肠段中主要胰腺消化酶活性进行检测，结果表明胰蛋白酶活性在十二指肠显著上升，空肠后期有所下降；脂肪酶活性在十二指肠随日龄增加先上升后下降，与空肠变化相反，间接反映了胰腺消化酶合成能力变化趋势。本试验结果发现乳鸽 8 日龄时胰腺消化酶总活性急剧升高，与 2 日龄相比，淀粉酶、脂肪酶和胰蛋白酶总活性分别提高了 1.05

倍，6.81 倍和 1.54 倍，其中脂肪酶总活性变化幅度最大。

乳鸽出壳时，需要采食亲鸽嗉囊分泌的鸽乳才能存活，乳鸽小肠发育程度相对较低。鸽乳中富含大量脂类营养物质和多种促生长因子[15-16]。此外，有研究表明鸽乳中含有丰富的消化酶，促进乳鸽早期的消化过程[17-18]。本试验结果表明，乳鸽出壳早期，自身胰腺消化酶活性水平较低，此后随日龄增加而线性增加，并于出壳后 8 或 10 日龄时自身胰腺消化酶活性水平大幅提高，机体消化酶合成能力增强，对鸽乳中营养物质的消化水平显著提高，逐步适应外源性饲料营养。结果提示，乳鸽出壳早期自身消化酶合成能力不足可能是制约乳鸽机体生长的关键因素之一。

3.4　乳鸽早期小肠黏膜消化酶活性的发育变化

经过胰腺水解酶消化的大分子养分不能被肠上皮细胞直接吸收利用，需要进一步被肠黏膜分泌的黏膜二糖酶和碱性磷酸酶等黏膜酶分解为单糖、氨基酸和小肽等物质[10,19-20]。邹伟等[21]阐述了鸡小肠黏膜二糖酶（蔗糖酶和麦芽糖酶）的发育规律，指出在空肠和回肠肠段蔗糖酶和麦芽糖酶活性随日龄增加而增加，但在十二指肠部位，出壳后 6~7 d 略有下降随后才上升。Uni 等[22]报道了火鸡蔗糖酶和麦芽糖酶比活性在出壳后 2 d 先上升随后下降至 6~7 d 达到最低水平。与其他家禽不同的是，乳鸽为晚成鸟，出壳 7 日龄内，唯一的食物来源是由亲鸽嗉囊富含脂肪滴的上皮细胞脱落所形成的鸽乳。Bharathi 等[17]研究了亲鸽嗉囊组织和鸽乳的生化组成差异，结果发现鸽乳中含有一定水平的麦芽糖酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶，并且随着日龄增加，各消化酶活性逐渐降低，这在很大程度上提高了乳鸽对外源性鸽乳营养的消化水平。Dong 等[13]研究报道了乳鸽二糖酶比活性在十二指肠部位最低，随日龄变化呈先上升后下降趋势。本试验结果表明日龄因素、肠段类型及二者交互作用均对黏膜消化酶活性有一定影响。其中，乳鸽小肠黏膜消化酶活性随日龄增加呈线性变化，8~10 日龄时显著升高，回肠黏膜消化酶活性水平高于十二指肠。

4　结　论

① 乳鸽出壳后早期消化器官异生速度显著高于机体生长，此时是消化系统组织优先发育的重要阶段。出壳后 2~6 日龄，乳鸽机体对蛋白质利用率显著提高，沉积能力显著增强。

② 乳鸽出壳早期胰腺和小肠黏膜自身分泌的水解酶活性较低，此后随日龄变化而线性增加。回肠黏膜二糖酶（蔗糖酶和麦芽糖酶）活性显著高于十二指肠。

参考文献：

[1]　李殿鑫,戴远威,苏新国.肉鸽加工现状及发展前景[J].肉类工业,2015(3):52–53.

[2]　陈益填.我国肉鸽业养殖现状、投资效益及发展趋势分析[J].中国家禽,2012,34(4):8–11.

[3] 季凤艳.浅谈近几年几项养殖业的发展前景[J].山东畜牧兽医,2015(1):73.

[4] BEAMS H W,MEYER R K.The Formation of pigeon “milk”[J].Physiological Zoology,1931,4(3):486–500.

[5] 胡文娥,陈益填,吕敏芝.乳鸽生长速度与亲鸽饲料消耗的关系研究[J].养禽与禽病防治,2005(8):26–28.

[6] 杜正智,沈禹颐,李军祖,等.乳鸽生长发育特点研究[J].甘肃畜牧兽医,1993(1):14–15.

[7] SALES J,JANSSENS G P J.Nutrition of the domestic pigeon (*Columba livia domestica*)[J].World's Poultry Science Journal,2003,59(2):221–232.

[8] CHEN M X,LI X G,YANG J X,et al.Growth of embryo and gene expression of nutrient transporters in the small intestine of the domestic pigeon (*Columba livia*)[J].Journal of Zhejiang University Science B,2015,16(6):511–523.

[9] KLASING K C.Avian gastrointestinal anatomy and physiology[J].Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine,1999,8(2):42–50.

[10] LIBURN M S,LOEFFLE S.Early intestinal growth and development in poultry[J].Poultry Science,2015,94(7):1569–1576.

[11] DONSBOUGH A L,POWELL S,WAGUESPACK A,et al.Uric acid,urea,and ammonia concentrations in serum and uric acid concentration in excreta as indicators of amino acid utilization in diets for broilers[J].Poultry Science,2010,89(2):287–294.

[12] BIRGER S.Function of the digestive system[J].Journal of Applied Poultry Research,2014,23(2):306–314.

[13] DONG X Y,WANG Y M,DAI L,et al.Posthatch development of intestinal morphology and digestive enzyme activities in domestic pigeons (*Columba livia*)[J].Poultry Science,2012,91(8):1886–1892.

[14] 孙福方,邹晓庭.0～14 日龄乳鸽小肠主要消化酶发育规律的研究[J].饲料与畜牧,2009(9):25–27.

[15] 吕丹梅,谢青梅.乳鸽的营养需要及饲养管理技术[J].饲料博览,1999,11(3):37–38.

[16] DAVIES W L.The composition of the crop milk of pigeons[J].Biochemical Journal,1939,33(6):898–901.

[17] BHARATHI L,SHENOY K B,HEGDE S N.Biochemical differences between crop tissue and crop milk of pigeons (*Columba livia*)[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part

A:Physiology,1997,116(1):51–55.

[18] XIE P,FU S Y,BU Z,et al.Effects of age and parental sex on digestive enzymes,growth factors and immuneglobulin of pigeon squab[J].Journal of Animal and Veterinary Advances,2013,12(9):932–936.

[19] SVIHUS B.Starch digestion capacity of poultry[J].Poultry Science,2014,93(9):2394–2399.

[20] TANCHAROENRAT P,RAVINDRAN V,ZAEFARIAN F,et al.Digestion of fat and fatty acids along the gastrointestinal tract of broiler chickens[J].Poultry Science,2014,93(2):371–379.

[21] 邹伟,何余湧,陆伟.小肠黏膜二糖酶的发育规律及其影响因素[J].江西畜牧兽医杂志,2011(5):1–4.

[22] UNI Z,NOY Y,SKLAN D.Posthatch development of small intestinal function in the poult[J].Poultry Science,1999,78(2):215–222.

Study on Digestion Capacity of Posthatch Pigeon Squabs[2]

ZHANG Xiaoyun Dong Xinyang BU Xingchen QI Mingxing MIAO Liping ZHOU Minyao ZOU Xiaoting*

（*Key laboratory of Animal Nutrition and Feed Science of Agriculture*, *Feed Science Institute*, *Zhejiang University*, *Hangzhou* 310058, *China*)

Abstract: The objectives of the experiment were to investigate the changes of body weight (BW), digestive organ weight, serum protein metabolism indices, digestive enzymes activity of pancreas and intestine mucosa, and to determine the developmental pattern of digestive tract in domestic pigeons (*Columbia livia*). Thirty squabs (White Carneau) were euthanized by cervical dislocation for samples collection at 2, 4, 6, 8 and 10 days posthatch (six squabs each day). The results showed as follows: 1) day of age had significant effect on postnatal BW (yolk involved), organ weight of proventriculus, gizzard, liver, pancreas, intestine, and contents of total protein, albumin, urea acid, usea nitiogen in serum, and activity of pancreatic amylase, lipase, trypsin, specific activity of lipase, and activity and specific activity of intestinal disaccharidase (maltase and sucrase) as well as phosphatase, respectively (P<0.05). In specific, the increased indicators with age included the relative weight of liver, pancreas, intestine together with the absolute weight of

*Corresponding author, professor, E-mail: xtzou@zju.edu.cn (责任编辑 武海龙)

BW, proventriculus, gizzard, pancreas, liver, intestine ($P<0.01$), and contents of total protein, albumin in serum ($P<0.01$), and the activities of pancreatic amylase, lipase, trypsin followed with the specific activity of lipase ($P<0.05$), and activity and specific activity of intestinal disaccharidase (maltase and sucrase) as well as phosphatase ($P<0.01$). Contents of urea acid, urea nitrogen in serum and specific activity of trypsin declined linearly with day of age ($P<0.05$). Whereas the relative weight of proventriculus and gizzard went up, then dropped ($P<0.05$). 2) Segment had significant effect on activity of maltase and sucrose of squabs ($P<0.05$). 3) Interaction between day of age and segment had significant effect on activity of maltase and sucrose and specific activity of sucrose ($P<0.05$). It is concluded that the developmental capacity of protein metabolism, digestive system, pancreatic and intestinal enzyme activity elevated significantly improved with days of age. Hence, it is a vital stage of 2 to 10 days of age posthatch to promote the digestion capacity for squabs.

Key words: squab; protein metabolism; digestive enzyme; gastrointestinal tract development